



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

ANÀLISI DEL CAMP VISUAL DEL CONDUCTOR A TRAVÉS DEL PARABRISA DE DIFERENTS MODELS DE COTXE

SALOUA MOUSKOURD MAIMOUNI

JOSÉ LUIS ALVAREZ MUÑOZ
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

15/01/2018



GRAU EN ÒPTICA Y OPTOMETRIA

ANÀLISI DEL CAMP VISUAL DEL CONDUCTOR A TRAVÉS DEL PARABRISA DE DIFERENTS MODELS DE COTXES

RESUM

Els automòbils disposen d'uns elements obstructius (pilars, retrovisor interior...) sobretot en els parabrises, els quals penetren en el nostre camp de visió i poden restringir o limitar de manera considerable la nostra visió durant la conducció, i per tant poden alterar la nostra seguretat i causar accidents de trànsit. Però realment no està demostrat.

Aquest treball descriu com analitzar, mesurar i comparar el camp visual disponible d'un conductor al volant mitjançant la captura d'unes imatges del parabrisa des del punt de vista del conductor. Les captures es fan en diferents models de cotxe i amb diferents conductors. Amb l'ajuda d'una càmera de mòbil i una lent d'ull de peix (*fisheye*) es fan les captures d'imatges del camp visual de cada model de cotxe, prèviament calibrada. Posteriorment es durà a terme l'anàlisi de les imatges obtingudes amb l'ajuda d'un programa matemàtic anomenat *Matlab*. El programa està format per tres subprogrames, i per tant el procés de mesures i anàlisi és fa en tres etapes diferents: calibratge, tractament d'imatges (binarització) i finalment mesurar el camp visual sobre les imatges binaritzades.



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

ANÁLISIS DEL CAMPO VISUAL DEL CONDUCTOR A TRAVÉS DEL PARABRISA DE DIFERENTES MODELOS DE COCHES

RESUMEN

Los automóviles disponen de unos elementos obstructivos (pilares, retrovisor interior...) sobre todo en los parabrisas, los cuales penetran en nuestro campo de visión y pueden restringir o limitar de manera considerable nuestra visión durante la conducción, y por tanto pueden alterar nuestra seguridad y causar accidentes. Pero realmente no está demostrado.

Este trabajo describe cómo analizar, medir y comparar el campo visual disponible de un conductor al volante mediante la captura de unas imágenes del parabrisas desde el punto de vista del conductor. Las capturas se hacen en diferentes modelos de coche y con diferentes conductores. Con la ayuda de una cámara de móvil y una lente de ojo de pez (*fish-eye*) se hacen las capturas de imágenes del campo visual de cada modelo de coche, previamente calibrada. Posteriormente se llevará a cabo el análisis de las imágenes obtenidas con la ayuda de un programa matemático llamado *Matlab*. El programa está formado por tres subprogramas, y por tanto el proceso de medidas y análisis se hace en tres etapas diferentes: calibración, tratamiento de imágenes (binarización) y finalmente medir el campo visual sobre las imágenes binarizadas.



GRAU EN ÒPTICA Y OPTOMETRIA

ANALYSIS OF THE VISUAL FIELD OF THE DRIVER THROUGH THE WINDSHIELDS OF DIFERENT TYPES OF CARS

SUMMARY

Cars have some obstructive elements (pillars, interior rearview mirror...) specially in the windshields, which penetrate our field of vision and can greatly restrict or limit our vision during driving, and therefore may alter our safety and cause traffic accidents. But it's not really proven.

This work describes how to analyze measure and compare the available visual field of a driver at the wheel by capturing some windshield images from the driver's point of view. Catches are made in different models and types of cars and with different drivers. With the help of a mobile camera and a fish eye lens (fisheye) we capture images of the visual field of each pre-calibrated car model. Later, the analysis of the images obtained with the help of a mathematical program called *Matlab* will be carried out. The program consists of three subprograms; therefore the process of measurements and analysis is done in three different stages: calibration, image processing (binarization) and finally measure the visual field on the binary images.

GRAU EN ÒPTICA Y OPTOMETRIA

ANALYSIS OF THE VISUAL FIELD OF THE DRIVER THROUGH THE WINDSHIELDS OF DIFFERENT TYPES OF CARS

SUMMARY

Cars have some obstructive elements (pillars, interior rearview mirror, etc..) specially in the windshields, which penetrate our field of vision and can greatly restrict or limit our vision during driving, and therefore may alter our safety and cause traffic accidents. But it's not really proven.

This work describes how to analyze measure and compare the available visual field of a driver at the wheel by capturing some windshield images from the driver's point of view. Catches are made in different models and types of cars and with different drivers. With the help of a mobile camera and a fish eye lens (fisheye) we capture images of the visual field of each pre-calibrated car model. Later, the analysis of the images obtained with the help of a mathematical program called Matlab will be carried out. The program consists of three subprograms; therefore the process of measurements and analysis is done in three different stages: calibration, image processing (binarization) and finally measure the visual field on the binary images. Two drivers were involved in the study and seven automobiles of different types were analyzed.

To capture the images from the windshields, the driver positions the optical system in parallel to his eyes and in PPM, adjusts the seat for comfortable driving at the wheel, then captures instantaneous shots of his field of vision. But previously we make some instantaneous captures to the object or plan field (square grid) of known dimensions, which will be the images that we will use to make the calibration of the camera. The optical system formed by the camera and the *fisheye* lens mounted on a support, are placed at a known distance from a screen on which the object field is available. The field shows equidistant squares.

To facilitate the measurement of the angles and any of the points of the captured field, it is necessary to use a method that relates the camera's view to the real visual field of the conductor. To achieve this purpose we used a mathematical program called "MATLAB", which allows us to superimpose the images obtained from the windshield with the measuring grid (the object field).

Matlab is a mathematical software tool that offers an integrated development environment with its own programming language, used to analyze, develop algorithms and create mathematical models.

To analyze the visual field available for the different car models, three subprograms or modules of Matlab have been developed, and therefore the process of measurements and analysis will be done in three different stages: calibration, image processing (binarization) and finally measure the visual field on the binary images.

Module 1 is the first stage in the visual field analysis process, allows us the calibration of the camera plus the *fisheye* lens.

The images previously obtained from the object field (the square grid), will be used to carry out the calibration of the camera plus the fisheye lens using module 1. Matlab uses these images to locate known points of this plan, marking the pixels. Matlab recognizes in which pixel of the image the point is marked in the object field, then it collects the coordinates x and y of the pixel of the image, and generates a calculation document (Excel) with data that unites each one of the pixels of the image with its angular value with respect to the optical center. In this way, knowing what the displacement is x and y in pixels of the image, you can associate an angular value θ with the object space.

All in all, we obtain values of coordinates of the distances in the real object space related to the pixels coordinates of the image.

This process is applied for each of the images captured by each car type, so we have generated 14 excels, from which the necessary calculations have been made to find the right projection system or what it is 'closer to our *fisheye* lens.

For a camera lens that has no distortion, enlargement is constant throughout the field of vision. This is not the case with the projection of a fish eye lens. To capture the entire hemisphere with a fish eye lens, it is necessary to introduce a large barrel distortion. This means that near the edge, the image needs to be compressed in some way compared to the center. Then the expansion is not constant throughout the field.

The change of increase is not the same in all fish eye lenses, it depends on the projection method (equidistant, orthogonal, stereographic, and equally solid projection) that is used. Based on the data document generated by module 1 of the Matlab, we obtain information about the length L and the angle θ .

From which all the coefficients of the regression lines of the four projection systems for each car type are calculated using the spreadsheet (Excel), and this would be the first stage of the analysis process is completed with the Matlab.

Module 2 is the second stage in the process of analysis of the visual field, it consists by the treatment of images, it is a program that allows the binarization of the images.

Once we have all the binary images, and we also have all the coefficients of the regression lines (module 1) in order to be able to associate each pixel with the angle of the corresponding object field. Now they can be set exactly at which horizontal angle and at what vertical angle is related to that point of the pixel of the image, and you can already know which solid angle corresponds to each one of the pixels. This would be the last stage of analysis with Matlab, and that is what we have called as module 3.

Module 3 is the third and final stage of the visual field analysis process; it consists of making the measurements on the binary images. Module 3 allows you to calculate the solid angle directly, calculates for each pixel the solid angle that corresponds to each pixel. The program generates a spreadsheet (Excel) with the measures of the azimuthal angle ($d\beta$) and the angle of elevation ($d\epsilon$) for the four projection systems. When clicking on a point of the image that corresponds to a certain horizontal angle and then clicking on another point that corresponds to a certain horizontal angle, the difference between these two points will be the total angle that has a horizontal dimension that has the windshield of our car, and exactly the same in the vertical dimension. In this way we obtain the horizontal and vertical dimensions of the visual field available for each car type.

The solid angles calculated with Matlab, globally in all car type, give better results with the equally solid projection in the first position, followed by the equidistant projection and finally the stereographic projection.

To obtain the horizontal and vertical dimensions of the visual field of the different car types, the average has been made between the dimensions of the two equidistant projections and the equally solid angle, which are the two best-performing projections.

The results obtained from the available field of vision of a driver at the wheel, using the method that we have used, it clearly reveal differences between the different models of automobiles and also the restrictions of the visual field of the driver caused by the obstructive elements present inside the car.

When the driver looks forward, the visual field is seriously reduced for all the cars, which only reach about 35° vertically in the case of the car with the best result. Horizontally, the reduction is not so sharp as in the vertical meridian, it reaches approximately 174° in the car with the best result. The left pillar blocks a region on the periphery and has an extension along the horizontal meridian. In all the automobiles, the inside a rearview mirror locks a region that is just above the horizontal meridian.

The calculation of the solid angles of all car type is what gives us the detailed information of the pixels (sr) of all the available field available visual for each driver and in different cars type. The results obtained indicate that cars with the best visual field are: Renault and Hyundai.

And the cars with the visual field reduced considering the solid angles are: Kia and Bmw.

If we take into account both horizontal and vertical meridians, the results obtained confirm us again the same results obtained in the calculation of the solid angle. The best-performing cars, and therefore with the largest visual field are: Renault and Hyundai.

On the other hand, the cars with the worst result, and therefore with the reduced visual field are: Kia and the Bmw.

When comparing the visual fields available for both drivers, the differences are basically scaled and scroll across the visual field. In the final binary images, it is clearly observed that the driver 1 has a bigger field of vision than the driver 2, in all the automobiles. These differences are mainly a result of the relative position of the head of each driver, which in turn determines its height and its individual adjustment of the seat for comfortable driving.

The greatest and potentially harmful occlusions for driving are caused by the left pillar at the height of the driver's eyes (where these pillars are thicker and closer to the eyes of the driver as a result of their design), and also by interior rearview mirror and its attachment; In the vertical meridian, the roof of the car also obstructs a very important part of the field of vision in the vertical dimension, this could cause difficulties to see the traffic lights and signals during driving.

The obstruction caused by the elements of the interior of the automobile threatens safe driving. These elements that exist for security reasons produce visual defects that penetrate the horizontal field of 120° .

The method of field vision measures used in this work could be used in the investigation of accidents, to determine to what extent the occlusive elements present in the interior of the automobile are involved in the accident.

It would also be very useful to apply this method in related areas, for example in determining the optimal location of the traffic signals in general, so that they are clearly visible to the driver from the interior of the car. This method can also be used to suggest directions to improve car design, and thus minimize the obstruction caused by its elements.

AGRAÏMENTS

En primer lloc vull agrair al meu tutor i director del treball, en José Luis Álvarez, per la seva gran aportació al treball, i per la seva gran empatia i paciència. Sempre m'ha ajudat i guiat per aconseguir els objectius que ens havíem proposat per aquest treball. També li vull donar les gràcies pel seu recolzament al llarg de la carrera, per mi ha sigut un dels millors professors que he tingut, i un professor exemplar.

A tots els meus companys i amics que he anat coneixent al llarg de la carrera i que sempre formaran part de la meva etapa universitària. Gràcies per donar-me suport al llarg de la carrera i per compartir amb mi una experiència tant important. I que gràcies a ells, el meu pas per la universitat ha sigut una experiència molt positiva. Entre ells, Montse, Gabriela, Mariam, Nuria, Laura i Joan.

A la meva família per estar sempre allà, especialment als meus pares i a la meva germana Siham. Gràcies per aguantar-me en els meus moments d'estrès i pel vostre suport en tot moment que ho he necessitat.

A la Òptica Salas de Girona, que m'han donat la oportunitat de realitzar les practiques en el seu establiment, especialment als seus treballadors, a la Míriam, Mireia, Sílvia i Xavier.

Moltes Gràcies a tots!!

ÍNDEX

1. Introducció	11
2. Objectiu del treball	11
3. Mètode	12
3.1. Conductors i automòbils	12
3.2. Càmera i calibratge	13
3.3. Captura d'imatges del parabrisa de l'automòbil	14
4. MATLAB: anàlisis d'imatges	14
4.1. Mòdul 1	14
4.1.1. Sistemes de projecció habituals de les lents fisheye, i càlcul de l'angle d'excentricitat (θ)	17
4.1.2. Projecció Equidistant	18
4.1.3. Projecció Ortogonal	18
4.1.4. Projecció Estereogràfica	19
4.1.5. Projecció d'igual Angle Sòlid	19
4.1.6. Càlcul dels Sistemes de projecció per la nostra lent <i>Fisheye</i> (Excel)	20
4.2. Mòdul 2	22
4.3. Mòdul 3	23
5. Resultats	27
5.1. Angle sòlid corresponent a cada píxel de la nostre imatge	28
5.2. Dimensions del camp visual	29
5.3. Oclusions causades pel model d'automòbil	29
5.4. Oclusions causades pel conductor	30
6. Conclusions	33
7. Bibliografia	34

1. INTRODUCCIÓ

La nostre posició durant la conducció, la forma del parabrisa i les dimensions que té cada model de cotxe poden ser causes d'accident de trànsit, ja que poden limitar alguna part del nostre camp de visió. Amb aquest treball es pretén analitzar, mesurar i comparar les dimensions del camp visual obtingut en cada model de cotxe i amb diferents conductors.

Amb l'ajuda d'una càmera de mòbil i una lent d'ull de peix (*fisheye*) es fa la captura del camp visual de cada model de cotxe, prèviament calibrada, i posteriorment es durà a terme l'anàlisi de les imatges obtingudes amb l'ajuda d'un programa matemàtic.

2. OBJECTIU DEL TREBALL

Els conductors quan parem a una senyal stop per exemple, hem de mirar sempre en diferents direccions i confirmar que no hi ha cap cotxe, vianant o algun altre obstacle que ens pugui impedir el pas, i així assegurem la nostre seguretat i la de tothom. Aquest fet de mirar no sempre ens assegura el 100% que podem passar amb total seguretat ja que en el parabrisa hi han elements obstructius que tapen part del nostre camp de visió. Degut a aquests elements obstructius (per exemple: els pilars de les finestres, el mirall retrovisor interior...), i les dimensions i forma del parabrisa, en el nostre camp de visió sempre queda limitada u obstruïda alguna part. Aquesta limitació u obstrucció podria ser causa d'un accident de transit, però realment no està demostrat. Aquest treball descriu com mesurar el camp visual disponible d'un conductor al volant mitjançant la captura d'unes imatges del parabrisa des del punt de vista del conductor. En el qual s'analitzaran, previ calibratge de la càmera, les diferents imatges obtingudes, per comparar les dimensions dels camps visuals obtinguts en cada cas.

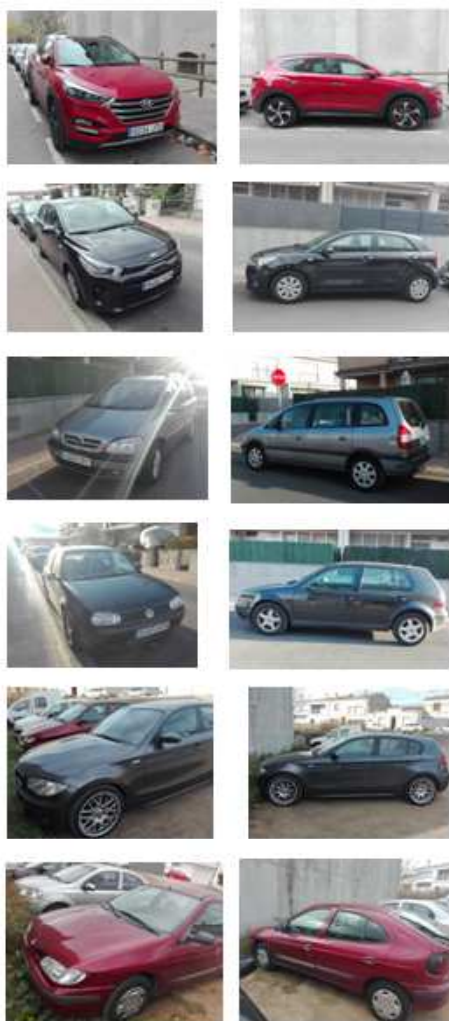
3. MÈTODE

La tècnica de mesura consisteix en capturar unes imatges des del punt de vista d'un conductor al volant utilitzant un sistema òptic format per una càmera de mòbil normal i una lent d'ull de peix (*fisheye*). Prèviament s'ha fet la captura d'un camp o pla que consisteix en una graella quadrada amb unes dimensions conegudes, que s'utilitzaran pel calibratge de la càmera.

El conductor ajusta el sistema òptic format per la càmera i la lent *fisheye* als seus ulls, en la seva posició còmode al volant, seguidament fa unes captures instantànies del seu camp de visió. Les captures es fan quan el cotxe està estacionat i amb el parabrisa cobert per un llençol blanc uniforme per facilitar la posterior binarització de les imatges mitjançant un programa. I finalment mitjançant uns càlculs, obtindrem la mesura del camp visual disponible en cada model de cotxe i per cada conductor.

3.1. Conductors i automòbils

En l'estudi hi han participat dos conductors i s'han analitzat set automòbils de diferent model.



	Conductor 1	Conductor 2
Sexe	Dona	Home
Edat	30	23
Estatuta	1,59 m	1,74 m
DIP	58 mm	60 mm

	Marca	Model	Any
1	HYUNDAI	TUCSON	2016
2	KIA	RIO	2017
3	OPEL	ZAFIRA	2004
4	VOLKSWAGEN	GOLF 4	2005
5	BMW	SERIE 1	2007
6	RENUIT	MEGANE	1998
7	OPEL	VECTRA	2000

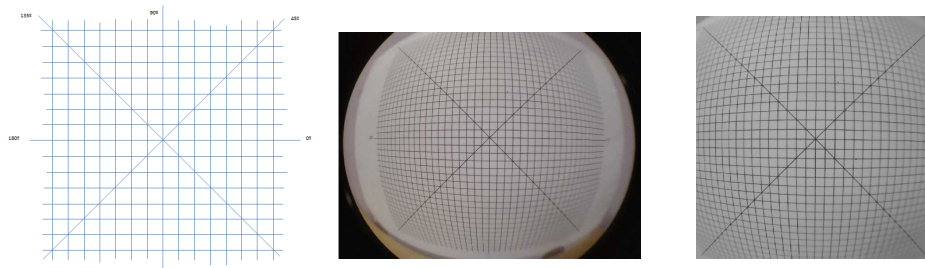


3.2. Càmera i calibratge

Les imatges obtingudes per determinar el camp visual disponible per cada model de cotxe, han sigut capturades mitjançant la càmera d'un mòbil *HUAWEI ALE-L21 (model P8 Lite, 2015)*, i una lent d'ull de peix (*fisheye*) de uns 20 mm de diàmetre. Com que el nostre objectiu es capturar imatges de gran angular, en aquest cas, la lent *fisheye* és l'adequada per aconseguir el nostre objectiu. La lent *fisheye* de mòbil és una lent que permet aconseguir imatges amb rang de 180°.



El conductor posiciona el sistema òptic format per una càmera de mòbil més la lent *fisheye* en paral·lel als seus ulls i en PPM, ajusta el seient per una conducció còmode al volant, seguidament es fan unes captures instantànies del seu camp de visió. Però prèviament es fan unes captures instantànies al nostre camp objecte o pla (graella quadrada) de dimensions conegudes. El sistema òptic format per la càmera i la lent *fisheye* muntades sobre un suport, es col·loquen a una distància coneguda d'una pantalla sobre la qual es disposa el camp objecte. El camp mostra quadrats equidistants, cada quadrat té unes dimensions de 4x4 mm.



En total s'han obtingut 14 imatges, per cada model de cotxe s'han fet dos fotos en diferents distàncies (D1: 70mm; D2: 104 mm). Aquestes imatges obtingudes del camp, representen la vista de la càmera del camp visual d'un conductor al volant, i seran les imatges que farem servir per fer el calibratge de la càmera.

Per facilitar la mesura dels angles i de qualsevol dels punts del camp visual capturat, es necessari utilitzar un mètode que relacionés la vista de la càmera amb el camp visual real del conductor. Per aconseguir aquesta finalitat s'ha utilitzat un programa matemàtic anomenat "MATLAB".

3.3. Captura d'imatges del parabrisa d'un automòbil

Abans de fer la captura de la imatge al parabrisa, es prepara prèviament l'automòbil. Les captures es fan amb el cotxe estacionat, es revisa que hi hagi bona lluminositat, i es cobreix el parabrisa amb un llençol blanc uniforme per facilitar la posterior binarització de les imatges.

El conductor se seu al volant i ajusta el seu seient per una conducció còmode. En el nostre cas, no es important la orientació, distància, ni el lloc de l'automòbil, ja que el parabrisa queda completament cobert. En canvi si que és important la posició i la orientació del conductor.

El conductor mentre aguanta el mòbil en paral·lel al seus ulls, situant la càmera del mòbil just al mig d'entrecelles, ha de mirar en PPM, i seguidament fa unes captures instantànies del seu camp de visió. Com que s'ha utilitzat la lent *fisheye* per fer les captures, es visualitza tot el camp visual del parabrisa, i no serà necessari fer captures en altres posicions o direccions.

Les imatges obtingudes seran superposades digitalment amb la quadrícula de mesurament (la graella quadrada), i la part de la quadrícula que cau fora de les zones obstruïdes per elements opacs a l'interior de l'automòbil representa així el camp visual disponible del conductor al volant.

4. MATLAB: anàlisi d'imatges

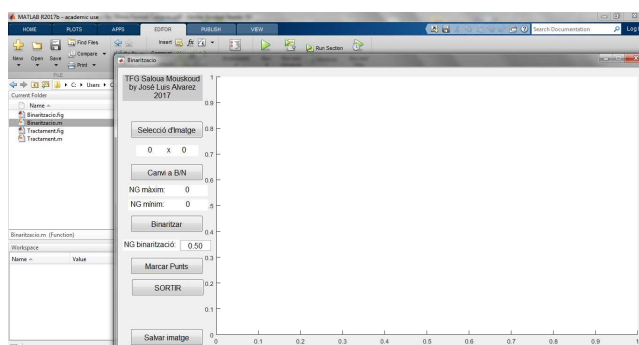
El *Matlab* és una eina de software matemàtic que ofereix un entorn de desenvolupament integrat amb un llenguatge de programació propi, s'utilitza per analitzar, desenvolupar algoritmes i crear models matemàtics.



Per analitzar el camp visual disponible pels diferents models de cotxes, s'han elaborat bàsicament tres subprogrames o mòduls diferents de *Matlab*, els quals s'aplicaran en tres etapes diferents per arribar al resultat final, i a partir d'allà s'han d'interpretar els resultats i extreure les conclusions.

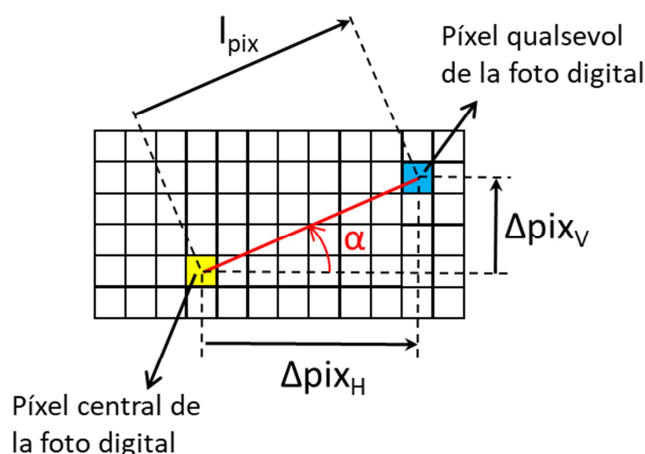
4.1. Mòdul 1

EL mòdul 1 és la primera etapa en el procés d'anàlisi del camp visual, permet fer el calibratge de la càmera més la lent *fisheye*.



Les imatges obtingudes anteriorment del camp objecte (la graella quadrada), s'utilitzaran per dur a terme el calibratge de la càmera més la lent *fisheye* mitjançant el *Matlab*. El *Matlab* fa servir aquestes imatges per localitzar punts coneguts d'aquest pla, marcant els píxels. És a dir, el *Matlab* localitza punts coneguts a partir de punts de l'espai (coordinades x,y) d'un pla determinat, on els desplaçaments de les coordenades x i y sobre el qual són coneguts. El Matlab reconeix en quin píxel de la imatge es troba el punt marcat al camp objecte, aleshores recull les coordenades x i y del píxel de la imatge, i genera un document de càlcul (Excel) amb unes dades que uneixen cadascun dels píxels de la imatge amb el seu valor angular respecte el centre òptic. D'aquesta manera, coneixent quin és el desplaçament x i y en píxels de la imatge, se li pot associar un valor angular θ a l'espai objecte. En definitiva obtenim valors de coordenades de les distàncies en l'espai objecte real respecte les coordenades de píxels de la imatge.

➤ Càlcul de l'angle meridional (α) i de la distància al píxel central (l_{pix}):



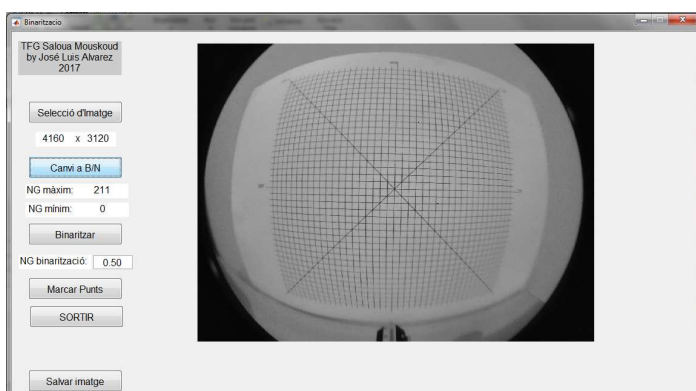
$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{\Delta \text{pix}_V}{\Delta \text{pix}_H}\right)$$

$$l_{\text{pix}} = \sqrt{(\Delta \text{pix}_H)^2 + (\Delta \text{pix}_V)^2}$$

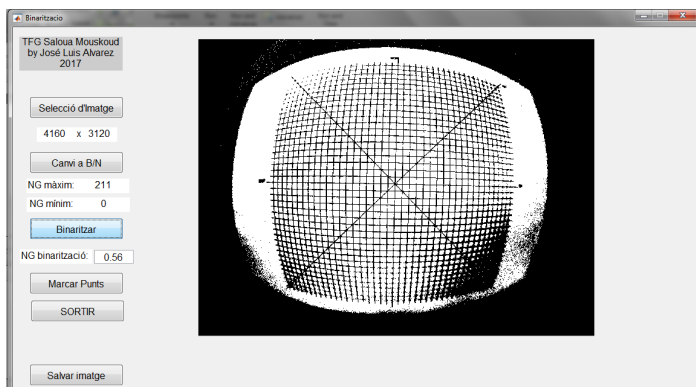
➤ **Procés de càlcul amb el *Matlab***



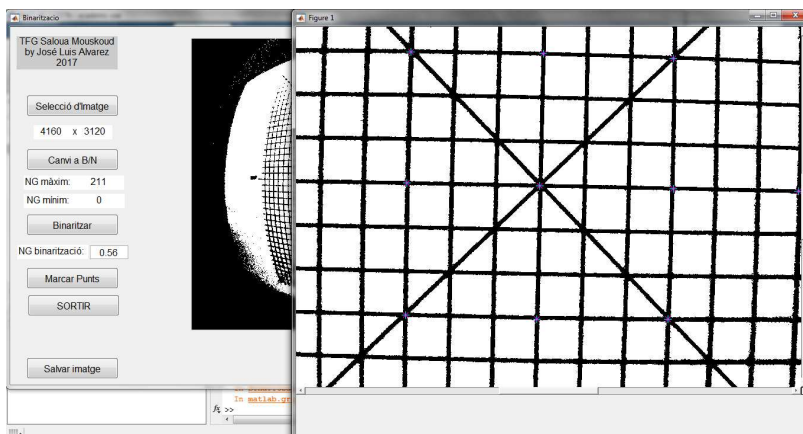
1. Selecció de la imatge



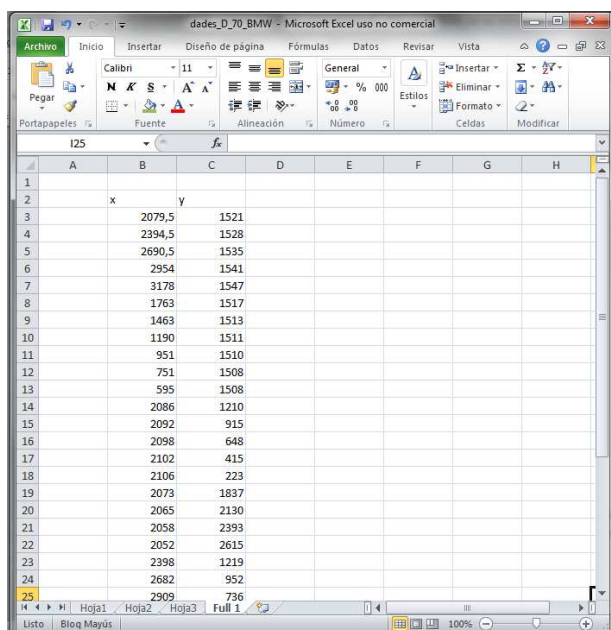
2. Canviar a Blanc/Negre



3. Binaritzar



4. Marcar els punts



	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		x	y					
3		2079,5	1521					
4		2394,5	1528					
5		2690,5	1535					
6		2954	1541					
7		3178	1547					
8		1763	1517					
9		1463	1513					
10		1190	1511					
11		951	1510					
12		751	1508					
13		595	1508					
14		2086	1210					
15		2092	915					
16		2098	648					
17		2102	415					
18		2106	223					
19		2073	1837					
20		2065	2130					
21		2058	2393					
22		2052	2615					
23		2398	1219					
24		2682	952					
25		2909	736					

Un cop marcats tots els punts, se li dona a Enter per generar el full de càlcul (Excel).

Aquest procés s'aplica per cadascuna de les imatges capturades per cada model de cotxe, per tant s'han generat 14 excels en total, a partir dels quals s'han fet els càlculs necessaris per trobar el sistema de projecció adequat o el que s'aproxima més a la nostre lent *fish-eye*.

4.1.1 Sistemes de projecció habituals de les lents *fish-eye*, i càlcul de l'angle d'excentricitat (θ)

Per una lent de càmera típica sense distorsió, la projecció s'expressa de la següent manera:

$$Y = f \tan \theta$$

Y és la meitat d'altura de la imatge des de l'eix òptic, f és la distància focal efectiva i θ és l'angle de semi camp en l'espai objecte.

Aquesta és l'anomenada **projecció gnomònica**, la qual s'utilitza en les lents rectilínies. Per a aquest tipus de lents, l'altura de la imatge incremental correspon a l'altura de l'objecte incremental. I l'angle de semi camp θ en l'espai imatge és igual a l'angle de semi camp θ en l'espai objecte.

Per dissenyar una lent d'ull de peix no serà efectiu utilitzar la projecció gnomònica. D'acord a l'equació de projecció, l'alçada de la imatge començarà a augmentar ràpidament i es convertirà poc realista quan θ sigui més gran de 70° . Quan θ arribi a 90° , l'altura de la imatge mitjana es converteix en infinit. Per tant, és impossible omplir tot l'hemisferi en el sensor de la càmera sense introduir una gran quantitat de distorsió de barril.

Per a una lent de càmera que no té distorsió, l'ampliació és constant en tot el camp de visió. Aquest no és el cas en la projecció d'una lent d'ull de peix. Per capturar tot l'hemisferi amb una lent d'ull de peix, es necessita introduir una gran distorsió de barril. Això significa que a prop

de la vora, la imatge necessita ser comprimida d'alguna manera en comparació amb el centre. Llavors l'ampliació no és constant en tot el camp.

El canvi d'augment no és el mateix en totes les lents d'ull de peix, sinó que depèn del mètode de projecció que s'utilitzi.

4.1.2. Projecció Equidistant

$$Y = f \cdot \theta$$

Recta de regressió calculada:

$$\theta = a \cdot l_{\text{pix}} + b$$

Estimació de l'angle d'excentricitat:

$$\theta = a \cdot l_{\text{pix}} + b$$

L'amplificació sagital d'aquest sistema depèn de la longitud focal i de la distància objecte del sistema. És constant en tot el camp. En canvi, l'augment tangencial augmenta cap a la vora de la imatge. Suposant un petit cercle com objecte, si aquest cercle està situat en l'eix, la seva imatge també és un cercle, amb el radi de r' . En canvi, si el mateix cercle es desplaça fora de l'eix, la seva imatge es converteix en una el·lipse. La longitud de l'eix menor és constant i sempre és igual a r' . L'eix principal va augmentant i arriba a 1.57 vegades l'eix menor en el camp de 90° . Si la lent d'ull de peix té un camp semi major de 90° , l'eix principal de l'el·lipse seguirà augmentant mentre que l'eix menor romandrà constant.

4.1.3. Projecció Ortogonal

$$Y = f \cdot \sin \theta$$

Recta de regressió calculada:

$$\sin \theta = a \cdot l_{\text{pix}} + b$$

Estimació de l'angle d'excentricitat:

$$\theta = \arcsin(a \cdot l_{\text{pix}} + b)$$

A diferència de la projecció equidistant, l'augment tangencial és constant en la projecció ortogonal. L'amplificació sagital disminueix cap a la vora de la imatge, i es converteix en 0 quan el semi camp arriba a 90° . Suposant un objecte circular com en el cas anterior. Quan el cercle està situat en l'eix, la imatge també és un cercle amb radi de r' . En canvi si el cercle es desplaça fora de l'eix, la imatge es converteix en una el·lipse. L'eix principal de l'el·lipse segueix sent el mateix, mentre que el seu eix menor segueix disminuint. Quan el semi camp arriba a 90° ,

l'augment sagital disminueix a 0 i l'el·lipse es converteix en una línia cap a la direcció tangencial, amb la longitud de r' .

La projecció ortogonal és la que té major distorsió en la vora de la imatge en comparació amb la resta de mètodes de projecció d'ull de peix. La informació prop de la vora de la imatge està gairebé inutilitzable degut a que l'amplificació sagital és 0. No obstant això, el fet de tenir la imatge de vora més comprimida, fa que la imatge en el centre sigui menys comprimida i gairebé sense distorsió com en el cas d'una imatge d'una lent normal. El sacrifici de la informació en la vora de la imatge assegura més informació a l'àrea central.

4.1.4. Projecció Estereogràfica

$$Y = 2 \cdot f \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Recta de regressió calculada:

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = a \cdot l_{\text{pix}} + b$$

Estimació de l'angle d'excentricitat:

$$\theta = 2 \cdot \text{atan}(a \cdot l_{\text{pix}} + b)$$

En la projecció estereogràfica, la imatge té la mateixa amplificació tangencial i sagital en qualsevol punt del pla de la imatge. És a dir, la imatge d'un petit objecte té la mateixa forma que l'objecte. Suposant l'objecte circular d'abans, la imatge sempre serà un cercle, indiferentment on estigui situat l'objecte. Tant si el cercle està situat en l'eix o es desplaça fora de l'eix, la imatge és un cercle amb radi de r' . L'ampliació de la direcció tangencial i sagital augmenta a la mateixa velocitat en els dos casos. Aquesta projecció és la que té menor distorsió entre els quatre sistemes de projecció.

4.1.5. Projecció d'igual Angle Sòlid

$$Y = 2 \cdot f \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Recta de regressió calculada:

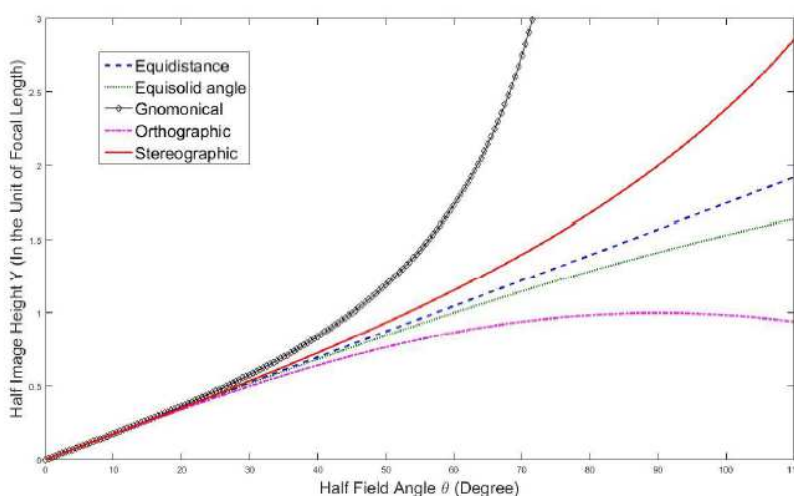
$$\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = a \cdot l_{\text{pix}} + b$$

Estimació de l'angle d'excentricitat:

$$\theta = 2 \cdot \text{asin}(a \cdot l_{\text{pix}} + b)$$

La taxa canviant d'amplificació sagital és la inversa múltiple de la taxa canviant d'augment tangencial. Suposant el mateix objecte circular d'abans. Quan l'objecte circular se situa en l'eix, la seva imatge també és un cercle. En canvi, si l'objecte es desplaça fora de l'eix, l'amplificació sagital disminueix mentre que l'augment tangencial va creixent. Per tant, la imatge es converteix en una el·lipse, amb l'eix principal al llarg de la direcció tangencial. La distorsió és més gran que la projecció equidistant, però més petita que la projecció ortogonal al camp gran. Això assegura que l'àrea central de la imatge es fa més gran mentre es mantenen bons detalls en la vora de la imatge.

Diferencia de projecció



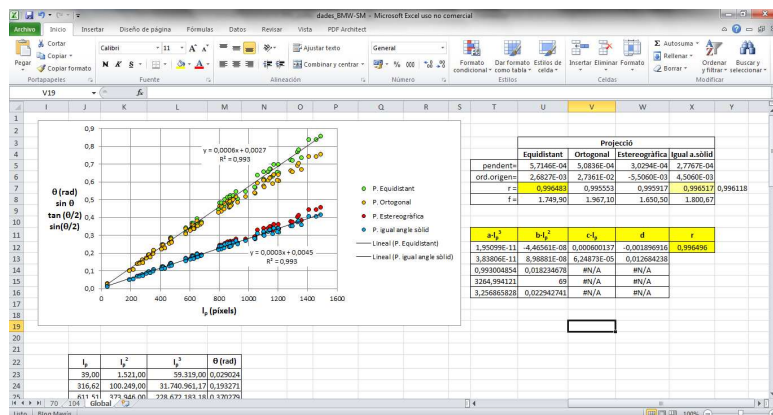
*Alçada de la imatge
enfrent de l'angle del
camp pel sistema de
projecció de diferents lents
d'ull de peix.*

Pels quatre mètodes de projecció d'ull de peix, com més baixa sigui l'altura de la imatge a la vora, més gran és la distorsió de barril. A partir d'aquesta gràfica, és veu clar que la projecció estereogràfica és la que té menys distorsió de barril. La projecció ortogonal és la que té més distorsió de barril. Les projeccions equidistant i d'igual angle sòlid tenen una distorsió de barril mitjana i similar en comparació amb les altres dos projeccions.

4.1.6. Càlcul dels Sistemes de projecció per la nostra lent *Fisheye* (Excel)

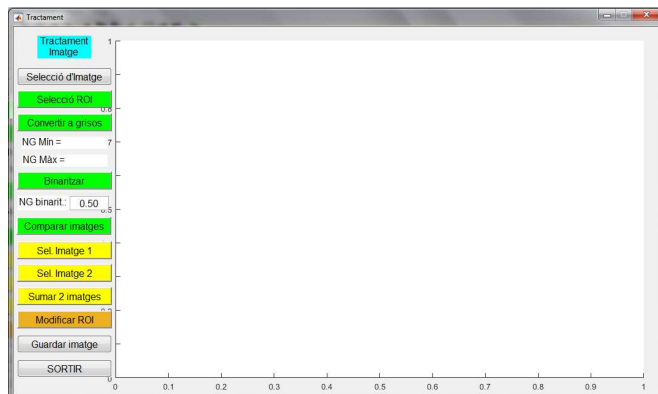
A partir del document de dades que genera el mòdul 1 del *Matlab*, obtenim informació de la longitud L i de l'angle θ . Aquesta informació ens està lligant cada angle θ en l'espai objecte amb la longitud L que correspon a la separació en píxels entre el centre de la imatge i el punt en qüestió.

A partir d'aquesta informació, es calculen tots els coeficients de les rectes de regressió dels quatre sistemes de projecció per cada model de cotxe mitjançant el full de càlcul (Excel). Primer es comença el càlcul per separat, per les dos distàncies utilitzades per fer la captura de les imatges del camp objecte. I seguidament es calcula de manera global, agrupant tota la informació de les dos distàncies. A partir d'allà, obtenim tots els coeficients de les rectes de regressió per cada projecció.

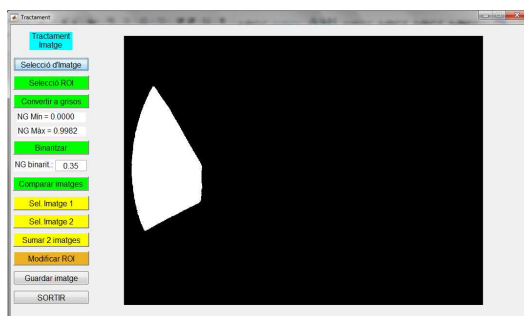
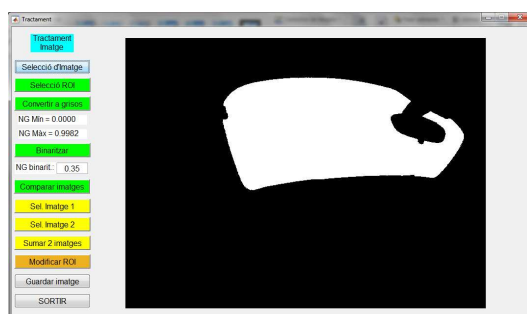
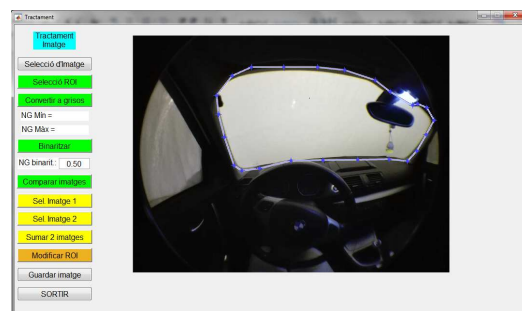
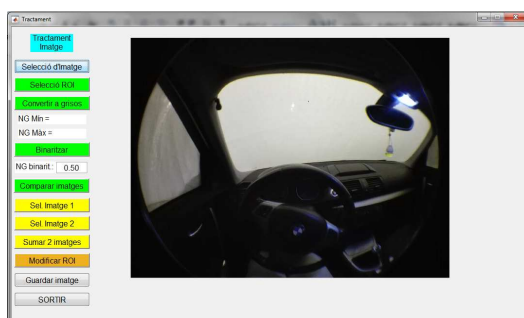


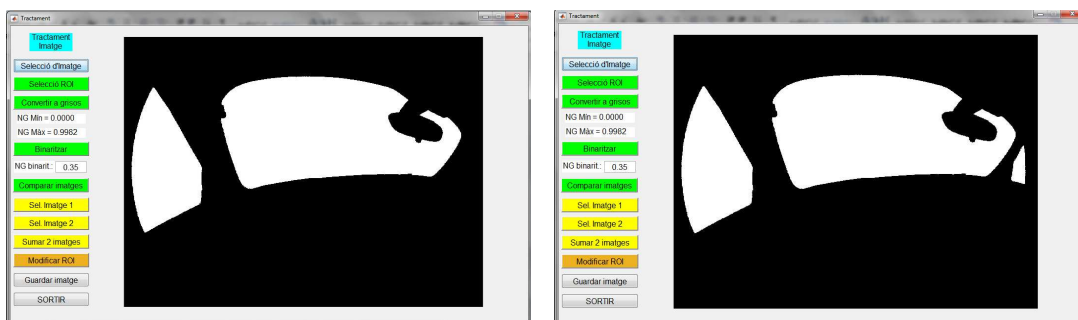
4.2. Mòdul 2

EL mòdul 2 és la segona etapa en el procés d'anàlisi del camp visual, consisteix en el tractament d'imatges, és un programa que permet fer la binarització de les imatges.



➤ Procés de binarització d'imatges amb el Matlab



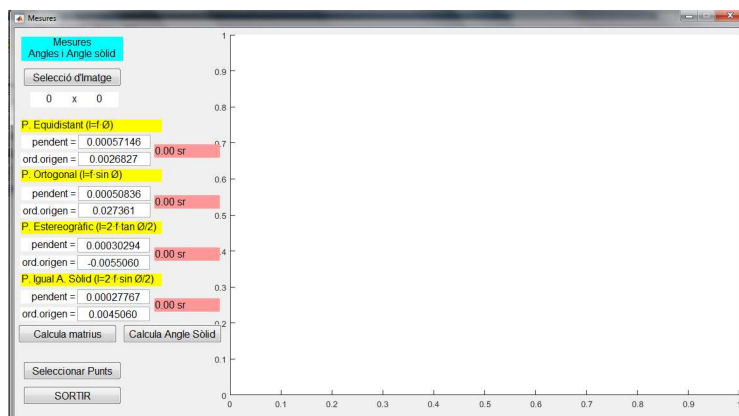


La imatge completament binaritzada.

4.3. Mòdul 3

EL mòdul 3 és la tercera i última etapa en el procés d'anàlisi del camp visual, consisteix en fer les mesures sobre les imatges binaritzades.

Un cop tenim totes les imatges binaritzades (mòdul 2), i també tenim tots els coeficients de les rectes de regressió (mòdul 1) per tal de poder associar cada píxel amb l'angle del camp objecte corresponent. Ara ja es poden establir exactament a quin angle horitzontal i a quin angle vertical correspon aquell punt del píxel de la imatge, i ja es pot saber també quin angle sòlid li correspon a cadascun dels píxels.

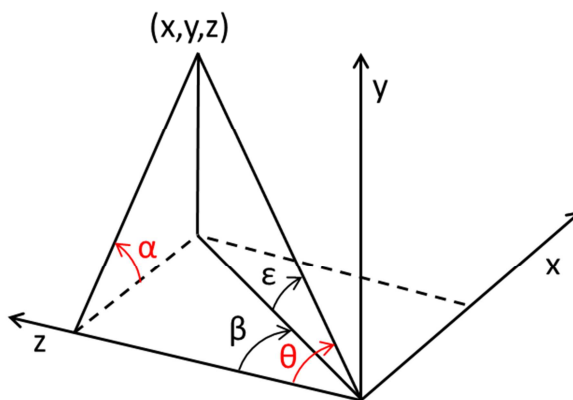


Aquest últim programa permet calcular l'angle sòlid directament, calcula per cada píxel l'angle sòlid que li correspon.

Per que el programa pugui fer el càlcul de l'angle sòlid, un cop seleccionada la imatge en qüestió i introduïts tots els coeficients de correlació de totes les projeccions que corresponen a un determinat model de cotxe, primer necessita calcular les matrius, i finalment calcula l'angle sòlid directament.

Com sabem exactament quin valor angular i angle sòlid li correspon a cada píxel de la nostra imatge?

- Càlcul de l'angle azimutal (β) i de l'angle d'elevació (ϵ), a partir del coneixement dels angles meridional (α) i d'excentricitat (θ):



$$\tan \alpha = \frac{y}{x}$$

$$x = \frac{y}{\tan \alpha}$$

$$\tan \theta = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z} = \frac{\sqrt{\frac{y^2}{(\tan \alpha)^2} + y^2}}{z} = \frac{y \cdot \sqrt{1 + (\tan \alpha)^2}}{z \cdot \tan \alpha} = \frac{y \cdot \sqrt{1 + (\tan \alpha)^2}}{z \cdot \tan \alpha}$$

$$y = \frac{z \cdot \tan \theta \cdot \tan \alpha}{\sqrt{1 + (\tan \alpha)^2}}$$

$$x = \frac{z \cdot \tan \theta}{\sqrt{1 + (\tan \alpha)^2}}$$

$$\tan \beta = \frac{x}{z} = \frac{\tan \theta}{\sqrt{1 + (\tan \alpha)^2}}$$

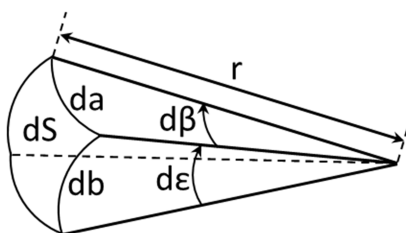
$$\beta = \text{atan}\left(\frac{\tan \theta}{\sqrt{1 + (\tan \alpha)^2}}\right)$$

$$\tan \varepsilon = \frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}} = \frac{z \cdot \tan \theta \cdot \tan \alpha}{\sqrt{1 + (\tan \alpha)^2} \sqrt{z^2 \cdot (\tan \theta)^2 + z^2}}$$

$$\tan \varepsilon = \frac{z \cdot \tan \theta \cdot \tan \alpha}{\sqrt{z^2 \cdot (\tan \theta)^2 + z^2 \cdot (1 + (\tan \alpha)^2)}} = \frac{z \cdot \tan \theta \cdot \tan \alpha}{z \cdot \sqrt{(\tan \theta)^2 + 1 + (\tan \alpha)^2}}$$

$$\varepsilon = \text{atan}\left(\frac{\tan \theta \cdot \tan \alpha}{\sqrt{(\tan \theta)^2 + (\tan \alpha)^2 + 1}}\right)$$

- Càlcul del diferencial d'angle sòlid ($d\Omega$) coneixent el diferencial d'angle azimutal ($d\beta$) i el diferencial d'angle d'elevació ($d\varepsilon$):



$$d\Omega = \frac{dS}{r^2}$$

$$d\Omega = \frac{da \cdot db}{r^2} = \frac{da}{r} \cdot \frac{db}{r}$$

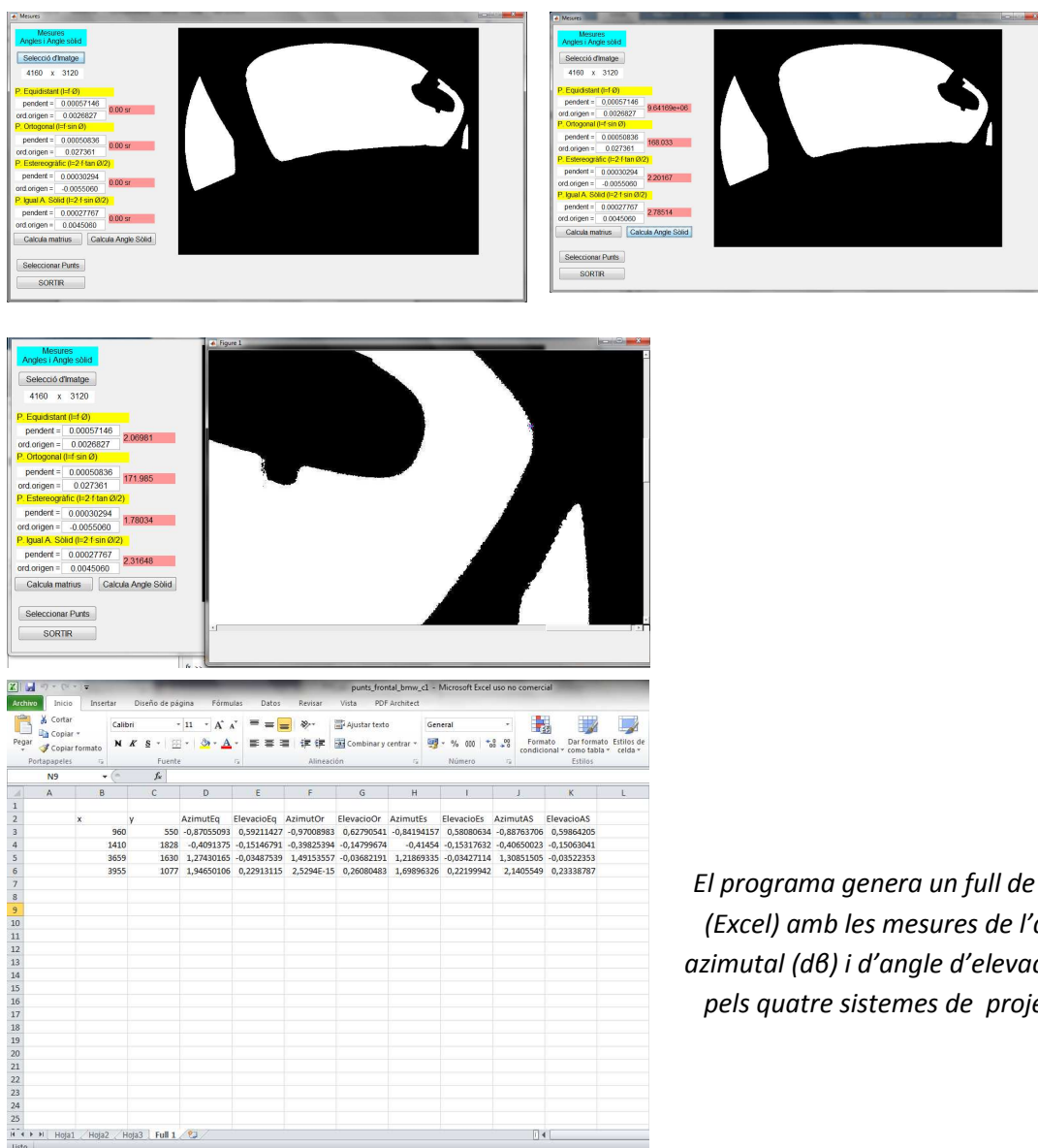
$$d\Omega = d\beta \cdot d\varepsilon$$

- Càlcul del diferencial d'angle sòlid ($d\Omega$) associat a un píxel determinat de la foto digital:

$$d\Omega_{(x,y)} = d\beta \cdot d\varepsilon = \left(\frac{\beta_{(x+1,y)} - \beta_{(x-1,y)}}{2}\right) \cdot \left(\frac{\varepsilon_{(x,y+1)} - \varepsilon_{(x,y-1)}}{2}\right)$$

$$d\Omega_{(x,y)} = \frac{(\beta_{(x+1,y)} - \beta_{(x-1,y)}) \cdot (\epsilon_{(x,y+1)} - \epsilon_{(x,y-1)})}{4}$$

➤ Procés de càlcul amb el *Matlab*



El programa genera un full de càlcul (Excel) amb les mesures de l'angle azimutal (dδ) i d'angle d'elevació (dε) pels quatre sistemes de projecció.

Al clicar sobre un punt de la imatge que correspon a un determinat angle horitzontal i seguidament clicar sobre un altre punt que correspon a un determinat angle horitzontal, la diferència entre aquests dos punts serà l'angle total que té de dimensió horitzontal que té el parabrisa del nostre cotxe, i exactament igual en la dimensió vertical. D'aquesta manera obtenim les dimensions horitzontal i vertical del camp visual disponible per cada model de cotxe.

5. RESULTATS

L'objectiu inicial era trobar el sistema de projecció més adequat o el que més s'aproxima a la nostre lent ull de peix (*fisheye*), per tal de fer les mesures de les dimensions del camp visual dels diferents models de cotxe. Però els resultat obtinguts no han estat així. La lent no presenta un únic sistema de projecció, sinó que dels 7 models de cotxes, **5** són de projecció **igual angle sòlid**, i **2** són de **projecció equidistant**. Però en general tots els cotxes presenten més d'una projecció tal com es pot veure en aquestes taules:

BMW	Projecció			
	Equidistant	Ortogonal	Estereogràfica	Igual a.sòlid
pendent=	5,7146E-04	5,0836E-04	3,0294E-04	2,7767E-04
ord.origen=	2,6827E-03	2,7361E-02	-5,5060E-03	4,5060E-03
r =	0,996483	0,995553	0,995917	0,996517
f =	1.749,90	1.967,10	1.650,50	1.800,67

Hyundai	Projecció			
	Equidistant	Ortogonal	Estereogràfica	Igual a.sòlid
pendent=	6,0518E-04	5,3817E-04	3,2085E-04	2,9404E-04
ord.origen=	-8,1967E-04	2,4244E-02	-7,3550E-03	2,8033E-03
r =	0,997305	0,997068	0,996461	0,997490
f =	1.652,39	1.858,14	1.558,37	1.700,47

KIA	Projecció			
	Equidistant	Ortogonal	Estereogràfica	Igual a.sòlid
pendent=	5,8621E-04	5,1927E-04	3,1143E-04	2,8455E-04
ord.origen=	-3,7097E-03	2,3194E-02	-9,3536E-03	1,5989E-03
r =	0,997624	0,997691	0,996396	0,997935
f =	1.705,87	1.925,78	1.605,50	1.757,16

Opel V	Projecció			
	Equidistant	Ortogonal	Estereogràfica	Igual a.sòlid
pendent=	5,8319E-04	5,1848E-04	3,0924E-04	2,8333E-04
ord.origen=	4,0649E-03	2,8892E-02	-4,8560E-03	5,2162E-03
r =	0,998753	0,997494	0,998370	0,998703
f =	1.714,70	1.928,70	1.616,87	1.764,70

Opel Z	Projecció			
	Equidistant	Ortogonal	Estereogràfica	Igual a.sòlid
pendent=	5,9690E-04	5,2799E-04	3,1740E-04	2,8963E-04
ord.origen=	8,5724E-03	3,4457E-02	-2,9793E-03	7,6147E-03
r =	0,999202	0,996855	0,998991	0,998981
f =	1.675,32	1.893,98	1.575,32	1.726,32

Renault	Projecció			
	Equidistant	Ortogonal	Estereogràfica	Igual a.sòlid
pendent=	6,1967E-04	5,5585E-04	3,2713E-04	3,0170E-04
ord.origen=	4,8637E-03	2,6981E-02	-3,6605E-03	5,2631E-03
r =	0,994282	0,993764	0,993651	0,994379
f =	1.613,77	1.799,06	1.528,45	1.657,29

Volkswagen	Projecció			
	Equidistant	Ortogonal	Estereogràfica	Igual a.sòlid
pendent=	5,8360E-04	5,1924E-04	3,0936E-04	2,8358E-04
ord.origen=	-1,5039E-03	2,3745E-02	-7,7658E-03	2,4867E-03
r =	0,997911	0,997651	0,996933	0,998121
f =	1.713,49	1.925,88	1.616,23	1.763,15

5.1. Angle sòlid corresponent a cada píxel de la nostre imatge

Els angles sòlids calculats amb el *Matlab*, globalment en tots els models de cotxes, donen millors resultats amb la projecció d'igual angle sòlid en primera posició, seguida de la projecció equidistant i finalment la projecció estereogràfica. Els resultats obtinguts amb la projecció ortogonal no eren coherents, per això s'han descartat. La projecció ortogonal és la que té major distorsió en la vora de la imatge en comparació amb la resta de mètodes de projecció d'ull de peix. La informació prop de la vora de la imatge està gairebé inutilitzable degut a que l'amplificació sagital és 0. Aquest resultat segurament es a causa d'aquest fet.

	Angles sòlids amb Projecció Equidistant (sr)		Angles sòlids amb Projecció d'Igual Angle Sòlid (sr)		Angles sòlids amb Projecció Estereogràfica (sr)	
	Conductor 1	Conductor 2	Conductor 1	Conductor 2	Conductor 1	Conductor 2
BMW	2,52273	2,06981	2,78514	2,31648	2,20167	1,78034
HYUNDAI	3,51199	2,93615	4,10835	3,44408	2,86155	2,40356
KIA	2,36861	2,0764	2,66314	2,37026	2,03588	1,74173
OPEL V	2,89542	2,1365	3,19515	2,41736	2,52846	1,81176
OPEL Z	3,24941	3,29171	3,71599	3,84829	2,72675	2,6849
RENAULT	4,25193	3,62602	5,12456	4,52397	3,37397	2,78069
VOLKSWAGEN	3,26142	2,44174	3,76281	2,77823	2,70099	2,05826

5.2. Dimensions del camp visual

Com que els sistemes de projecció majoritàriament donen resultats bons i similars, per obtenir les dimensions horitzontal i vertical del camp visual dels diferents models de cotxes, s'ha fet la mitjana entre les dimensions de les dos projeccions que donen millor resultat. Aquestes dos projeccions són la **projecció equidistant** i la **projecció d'igual angle sòlid**.

	DIMENSIÓ HORITZONTAL		DIMENSIÓ VERTICAL	
	Conductor 1	Conductor 2	Conductor 1	Conductor 2
BMW	132,41°	116,49°	29,02°	23,84°
HYUNDAI	161,94°	150,05°	30,23°	23,96°
KIA	132,01°	113,70°	26,08°	21,17°
OPEL V	148,36°	117,40°	34,06°	26,49°
OPEL Z	133,28°	129,55°	34,18°	31,18°
RENAULT	174,98°	150,16°	35,75°	28,66°
VOLKSWAGEN	158,43°	131,77°	31,16°	25,94°

La taula presenta els resultats en graus de les dimensions horitzontal i vertical del parabrisa, per cada model de cotxe i per diferent conductor.

5.3. Oclusions causades pel model d'automòbil

Cal tenir en compte que un conductor no manté una posició fixa durant la conducció natural, i que les nostres mesures amb els automòbils estacionats es van prendre amb la posició preferent dels conductors després d'haver ajustat el seient per a una conducció còmoda. En conseqüència, les oclusions del camp visual que es presenten en aquest treball no representen una pèrdua permanent d'informació visual.

En les següents imatges es mostra el camp visual del conductor 1, mentre està assegut al volant de cadascun dels automòbils. Per a una determinada direcció de la mirada (PPM), hi ha diferències clares entre els automòbils, com s'observa a continuació:



BMW



HYUNDAI



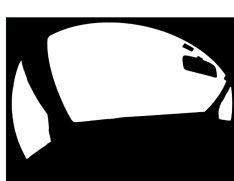
KIA RIO



OPEL V.



OPEL Z.



RENAULT



VOLKSWAGEN

Quan el conductor mira cap endavant (imatges anteriors), el camp visual es redueix seriosament a tots els automòbils, que només abasta aproximadament uns 35° verticalment en el cas de l'automòbil amb millor resultat, que seria el cas del Renault. Horitzontalment, la reducció no és tant accentuada com en el meridià vertical, abasta aproximadament 174° en l'automòbil amb millor resultat, que seria el cas del Renault. El pilar esquerre bloqueja una regió a la perifèria i té una extensió al llarg del meridià horitzontal. En tots els automòbils, el mirall retrovisor interior bloqueja una regió que està just per sobre del meridià horitzontal.

El mirall retrovisor interior, els pilars dret i esquerre, el sostre, i el tauler causen la restricció de la visió vertical del camp visual. També hem de tenir en compte que un ocupant al seient del costat bloquejarà més el camp visual del conductor per la dreta per a aquesta direcció de la mirada, les diferències entre els automòbils són menors en comparació amb la reducció important causada per la presència d'aquests elements opacs.

El càlcul dels angles sòlids de tots els models de cotxes, és el que ens dona la informació detallada dels píxels (en estereoradiants) de tot el camp visual disponible per cadascun dels conductors i en diferents cotxes. Els resultats obtinguts indiquen que els automòbils amb més bon camp visual són: Renault i el Hyundai.

I els automòbils amb el camp visual reduït tenint en compte els angles sòlids són: Kia i el Bmw.

Si tenim en compte els dos meridians horitzontal i el vertical, els resultats obtinguts ens tornen a confirmar els mateixos resultats obtinguts en el càlcul de l'angle sòlid. Els automòbils amb més bon resultat, i per tant amb el camp visual més gran són: Renault i el Hyundai.

En canvi, els automòbils amb pitjor resultat, i per tant amb el camp visual reduït són: Kia i el Bmw.

El camp visual de l'altre conductor presentava característiques similars, tot i que la ubicació exacta on es produeixen les oclusions variava, tal com es descriu a continuació.

5.4. Oclusions causades pel conductor

Al comparar els camps visuals disponibles pels dos conductors, les diferències es presenten bàsicament en escala i desplaçament a tot el camp visual. En la taula de resultats de les dimensions horitzontal i vertical (veure taula apartat 5.2), s'observa clarament que el conductor 1 presenta un camp de visió més gran que el conductor 2, en tots els automòbils. I en la taula de resultat del càlcul d'angles sòlids (veure taula apartat 5.1), globalment, s'observa que el conductor 1 presenta un camp de visió més gran que en el cas del conductor 2, a excepció d'un automòbil, l'Opel Zafira que no s'observa casi diferències entre els dos conductors.

Aquestes diferències entre els dos conductors són principalment un resultat de la posició relativa del capçal de cada conductor, cosa que al seu torn determina la seva alçada i el seu ajust individual del seient per a una conducció còmoda, i per tant es un determinant de la dimensió del camp visual.

També hem de tenir en compte que el moviment o desplaçament del cap en davant, permet una clara visió central de la zona situada al davant de l'automòbil, però en canvi afecta a la

visió perifèrica. Aquest moviment disminueix la distància entre els ulls i el pilar esquerre. Per tant, l'obstrucció provocada pel pilar esquerre en aquest cas és més àmplia, sobretot en la visió perifèrica. Aquest seria el cas del conductor 1 .

Si en els automòbils no hi hagués elements oclusius a l'interior, el conductor només tindria que fer moviments oculars i rotacions del cap com en el cas dels ciclistes, però al no ser així, els elements oclusius existents en l'interior de l'automòbil limiten la nostra visió, i per tant, els conductors han d'inclinar el cap i moure's cap endavant o cap endarrere per veure al voltant d'aquests elements.



Conductor 1



conductor 2

La disminució de la distància entre els ulls i el pilar esquerre, provoca un augment en l'amplada del pilar.

➤ **Imatges dels dos conductors utilitzant el mateix automòbil:**

Conductor 1

Conductor 2



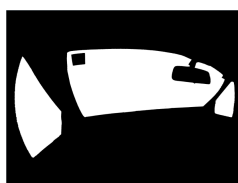
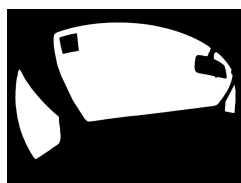
BMW



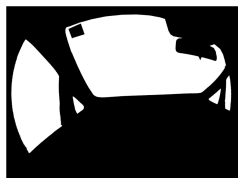
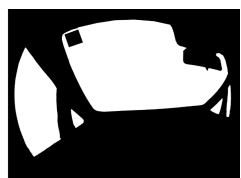
HYUNDAI



KIA



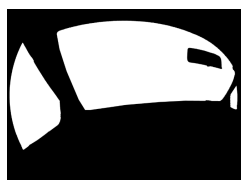
OPEL VECTRA



OPEL ZAFIRA



RENAULT



VOLKSWAGEN

6. CONCLUSIONS

Els resultats obtinguts del camp de visió disponible d'un conductor al volant, amb el mètode utilitzat, revelen clarament diferències entre els diferents models d'automòbil i també les restriccions del camp visual del conductor causades pels elements obstructius presents a l'interior de l'automòbil.

Les oclusions més grans i potencialment més nocives per a la conducció són causades pel pilar esquerre a l'alçada dels ulls del conductor (on aquests pilars són més gruixuts i més propers als ulls del conductor com a conseqüència del seu disseny), i també pel mirall retrovisor interior i el seu annex; En el meridià vertical, el sostre de l'automòbil també obstrueix una part molt important del camp de visió en la dimensió vertical, això podria causar dificultats per veure els semàfors i les senyals de circulació durant la conducció.

Tenint en compte que un conductor ha de tenir una visió clara d'un trajecte suficientment llarg de la carretera, així com una visió clara dels dos costats esquerre i dreta per poder veure els vianants que travessen el carrer, l'obstrucció causada pels elements de l'interior de l'automòbil amenaça la conducció segura. Aquests elements que existeixen per motius de seguretat, produeixen defectes visuals que penetren en el camp visual horitzontal de 120° que generalment es considera necessari per a la conducció i que tots els conductors amb un permís de conduir estan obligats a tenir.

Si una esfera sencera (360°) són 2π radiants, la meitat (180°) són π radiants, és a dir, equivalent a 3.14 radiants. S'arriba a la conclusió que el resultat del càlcul de l'angle sòlid és molt correcte, i coincideix amb la forma frontal dels cotxes. Per tant, aquesta tècnica de mesura és molt útil i segura per saber les mesures del camp disponible, permet obtenir la mesura aparent del camp visual disponible.

El mètode de mesures del camp de visió utilitzat en aquest treball, es podria fer servir en la investigació d'accidents, per determinar fins a quin punt els elements oclusius presents a l'interior de l'automòbil són involucrats en l'accident.

També seria de molta utilitat aplicar aquest mètode en àrees relacionades, com per exemple en la determinació de la ubicació òptima de les senyals de circulació en general, de manera que siguin clarament visibles pel conductor des de l'interior de l'automòbil. Aquest mètode també es pot utilitzar per suggerir indicacions per millorar el disseny d'automòbils, i així minimitzar l'obstrucció causada pels seus elements.

7. BIBLIOGRAFIA

- **Visual Fields at the Wheel.** VARGAS-MARTÍN, FERNANDO; GARCÍA-PÉREZ, MIGUEL A. **Optometry and Vision Science.** [August 2005 - Volume 82 - Issue 8 - p 675-681](#)
- **Photographic Fisheye Lens Design for 35mm Format Cameras.** YAN, YUFENG. **The University of Arizona.** [http://hdl.handle.net/10150/613395](#)
- [https://es.mathworks.com/products/matlab.html](#)